

真空技術

摘要

近幾十年來科技日益精進，晶圓產品的尺寸愈做規格愈大，也使真空設備的需求量隨之增加許多，國內電子廠的真空設備約佔建廠經費三成左右，其主要供應國為日本、美國、德國，每年支出的外匯是相當的龐大，因此希望本國的精密產業也能生產出高品質真空設備以提升產業競爭力，促進國家經濟發展。

前言

- 1643 年意大利賽 Torricelli 即作出了第一個真空實驗，他利用裝滿水的玻璃管置入水銀槽中，讓管中水銀自然下降至 76 公分高度，而上端封閉的玻璃管頂端留下一個空閥，此一空間沒有空氣進入，此被認為是真空- 托里切利真空。
- 1650 年 Von Guericke 則製作出第一具抽氣邦浦。
- 早期受限於元件材料、抽氣器械的發展遲緩而進展緩慢。
- 今日拜材料學、真空邦浦技術及真空應用研究與產業的蓬勃發展之賜，不但超高真空領域早已被廣泛使用，極高真空技術亦不再是科學殿堂中不可企及的科技。
- 其實真空是一個特殊的環境空間，在此空間中有相對較低的氣體分子密度，而可以提供一個較純淨不受氣體分子干擾的環境，如降低氣體分子間碰撞、降低活性氣體分子的污染反應等，以利進行科學研究或產品生產。

真空的之定義

- ◇ 絕對真空：即空無一物，所謂真的空，也可稱為理想真空。
- ◇ 相對真空：即一般所指的真空，係表示某一特定空間內的氣體壓力小於一大氣壓。

- ◇ 自然真空：指存在於自然界的真空，如外太空、月球表面。
- ◇ 人造真空：指以人為力量，如利用抽氣幫浦將某一特定空間之氣體排出，而達到相對真空者稱之，也是下例章節所討論。

真空之等級

- 粗略真空(粘滯流)1atm~10²Pa
- 中度真空(過渡流)10²~10⁻¹Pa
- 高真空(分子流)10⁻¹~10⁻⁵Pa
- 超高真空(分子流)10⁻⁵~10⁻⁸Pa
- 極高真空(分子流)10⁻⁸Pa以下

氣體壓力

- 氣體壓力之定義-氣體壓力系由於氣體分子碰撞受壓面而產生。
- 大氣壓力
 - 標準大氣壓之定義：在北緯 45°之海平面於 0°C 時，大氣之平均壓力是於 1 標準大氣壓，此時大氣所施壓力於為 760 毫米汞柱。(汞之密度為 13.59g/cm³)
 - 一標準大氣壓力

$$1\text{atm}=760\text{mmHg}=760\text{torr}=1.013\times 10^5\text{Pa}=1013\text{mbar}=14.7\text{psi}=7.6\times 10^5\text{microns}。$$
 - 氣體壓力之單位
 - 常用氣體壓力單位換算
 - 1mbar=100Pa=0.75torr
 - 1torr=1.33mbar=133Pa
 - 各氣體壓力單位間的換算，如表一(?請找出來)所示。
- 真空氣體的組成

大氣中氣體組成

大氣是由各種氣體所混合組成，其中氮氣和氧氣所佔比例即超過

99%，在 200°C 時標準大氣中，壓力為 1013mbar (乾燥空氣)。但當相對溼度 50% 時，水的蒸汽壓力在 200°C 時為 11.7mbar，此時總大氣壓為 1024.7mbar。

真空中氣體的組成

氣體成份比例隨真空改變及抽氣邦浦種類而有所不同，不盡然呈等比例減少。

對真空之基本認知

在真正進入真空領域前，吾人有必要先對真空建立若干基本認知：真空依字面上解釋應為空無一物，若更進一步說明，則指在某一特定空間中不存在任何物質。事實上這種情形並不存在，即便在外太空物質分佈最稀薄的地方，也還存在有若干氣體分子、粒子等。以目前科技所能達到之 10-12Pa 的真空極限而言，在 1 公升容器中至少存在有 10^5 的氣體分子，故而吾人對真空必須有不存在真空的基本認知。

由於現實世界中沒有任何包覆空間的容器是絕對不漏氣、不逸氣的，所以在地球表面附近的真空容器只要不持續將氣體分子排出，經過一段時間，容器內之氣體壓力必然升高，最終與周邊環境達成平衡，這是我們對真空所必須有的第二個認知。

為了維持容器內的真空程度，必須不斷地排氣，這個排氣的工具我們一般使用真空邦浦。由於氣體分子的運動行為依不同溫度、不同種類、不同濃度而有極大的差異，真空邦浦的排氣方式即是依據不同真空程度氣體分子的運動行為來進行設計，以現代科技而言，尚無法僅運用單一一種排氣原理所設計的邦浦來從事涵蓋整個真空領域的抽氣工作。

既然運用真空幫浦對真空容器抽氣，自然必須有精確的量測儀器進行容器內真空程度的偵測，這些量測儀器我們稱之為真空計。如同真空幫浦一般，真空計是依據在不同真空環境下之氣體整體行為與氣體個別行為所顯現的物理特性與化學特性上的差異而設計的。自然也無法僅使用單一一種偵測原理所設計的真空計即可測量整個真空領域。

氣流

在隔絕系統中，所以雖然根據氣體動力論確信氣體分子是會高速移動的，但對系統而言它是沒有壓力梯度的也就是沒有淨氣流存在。

當系統開一小孔接上抽氣裝置將氣體分子導出去時，系統內氣體分子將有一淨移動方向，從而產生壓力差，也就是有了淨氣流產生。

氣流種類及壓力範圍劃分

紊流 turbulence	粗略真空	760~50torr
層流 laminar	粗略真空	50~0.2torr
過渡流 transient	中度真空	0.2~ 3×10^{-3} torr
分子流 molecular	高真空	3×10^{-3} torr 以下
紊流、層流合為黏滯流		

依壓力與管徑關係劃分

較精確的劃分方式必須考量管徑大小，並以氣體分子平均自由徑取代壓力，即使用紐森數 Kn 來判定氣流種類。

$$Kn = \lambda / D_p (\lambda : \text{平均自由徑, cm.}, D_p : \text{管直徑, cm})$$

黏滯流 $Kn < 0.01$

過渡流 $1 > Kn > 0.01$

分子流 $Kn > 1$

至於層流與紊流的區分則利用雷諾數Re來判定，它主要和氣體分子流速與黏滯度有關 $Re = \rho v d / \mu$ (ρ ：氣體密度， g/cm^3 ； v ：氣體流速， m/sec ； d ：管直徑， cm ； μ ：氣體黏滯係數， $g/cm\text{-}sec$)

湍流 $Re > 2200$ 層流 $Re < 2200$

壹、真空抽氣概念

真空中的蒸汽

真空中之氣體分子分類

1. 氣體：指在工作溫度條件下，不可壓縮凝結的氣體物質而言，如氮、氧、氬等。
2. 蒸汽：指在工作溫度條件下，可以經由壓縮而凝結之氣體物質而言，如水汽、油氣等。

蒸汽壓之定義：

- 蒸汽壓：在某一溫度下，物質蒸發或氣化之蒸汽分子所造成之壓力。
- 飽和蒸汽壓：係指物質氣化過程達到平衡狀態，即氣化成蒸汽分子數目與回復成液態或固態之分子數目之狀態，此時之蒸汽即稱之為該物質之飽和蒸汽壓，超過此值蒸汽便開始凝結。

蒸汽壓之影響

飽和蒸汽壓對真空系統之抽氣品質有著極密切關聯，由於系統中氣體分子種類繁多，在不同壓力，溫度下造成影響亦不相同。這等氣體分子大致可分為水蒸汽、清潔蒸汽、邦浦油蒸汽等；當溫度降至極低時則一些永久氣體如氮、氧、二氧化碳等，亦必須將之當蒸汽分子來考慮；另則當溫度升至極高，系統所使使用金屬一樣要考慮它的蒸

汽壓。

真空系統之氣體負荷

吾人運用真空幫浦對真系統抽氣，這些氣體對幫浦而言，就是氣體負荷，而氣體來源則有原本就存在於真空容器空間中的系統固有氣體，即所謂體積氣體，其餘來源包括系統漏氣、蒸發、逸氣、滲透及油氣回溯等。所以氣體負荷就是指系統內所有氣體來源所造成之氣體總和。

在不同壓力狀態，氣體負荷亦不相同，在中度真空時，系統負荷主要為水氣、但進入超高真空領域時則氫氣便成為主要負荷，粗略真空時負荷主要來自於體積氣體；高真空以上則逸氣便成為主要來源。

以下概述各種真空系統的主要氣體負荷來源：

漏氣：漏氣主要來自於製造與組裝時的瑕疵，一般吾人將之分於實漏與虛漏兩種。

凡是氣體洩漏源自於真空容器外界進入容器內者稱之實漏，如系統焊接不良與O形環封合不良等。

若是來自螺絲、系統內封合環之殘存氣體在真空抽氣緩慢釋出，造成類似真空洩漏情形者，稱之為虛漏。

漏氣率是以單位時間內流過漏氣口的氣體量來表示，即

漏氣率=氣體量/時間

氣體量=壓力*體積

所以 1Stdcc單位即為在 0°C，760torr壓力時，1cc體積之氣體在 1stdcc/sec則為在 0°C，漏氣口內外壓力差為 760torr時每秒鐘漏入 1cc之氣體。

其之單位尚有 torr-1/sec' Atm-cc/sec... 等。

油蒸汽：主要來自於油迴轉機械邦浦、油擴散邦浦等含油之抽氣邦浦，這些油氣分子經由碰撞與擴散方式回溯至真空腔體內，成為強調潔淨度的某些真空系統的大敵。

解決之道可以無油式邦浦取代之或加上油擋板、冷凝器等解決之。

逸氣：

逸氣為高真空範圍中最主要的氣體負荷來源，當真空容器被抽至 0.2torr 以下時，原本吸附在器壁表面的氣體分子將陸續釋出，其在氣體負荷比例隨真空度之提升而迅速提高。

逸氣與體積氣體分子的比值在 1torr 時僅為 0.01，但到達 10^{-9} torr 之超高真空圍時，迅即升高到 10^9 。

對一超高真空系統而言，所有物件必須要求表面十分光滑、潔淨以降低氣體吸附之可能性。

我們一般將逸氣分為蒸發、熱退吸、電離退吸、擴散、滲透等幾個主要來源，這些都與真空材料本性及表面處理有極大關聯性。

逸氣率之 SI 單位為 W/m²

$$1\text{W/m}^2 = \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{sec} = 7.5 \times 10^4 \text{torr}\cdot\text{l}/\text{cm}^2\cdot\text{sec}$$

常見表示法 $q^{10} = qt^{-\alpha 10}$ 即為抽氣後第 10 小時之逸氣率。

真空系統之抽氣過程

吾人以系統中氣體流入總量與流出總量的關係來說明真空系統的抽氣極念。

在理想條件下，要達到一良好真空度只需尋求一完全不滲漏的容器和一性能良好的真空抽氣邦浦即可達到。但在真實情形下，並無不滲漏的容器且器面會有逸氣產生，氣體流入量變的更複雜。

理想抽氣

令一內容積為 $V(l)$ 之真空容器，內含有壓力為 $P_0(\text{torr})$ 的氣體，現用真空邦浦經由導管以抽氣速率 $S(l/s)$ 排出此氣體，經 Δt 時間後容器內壓力為 P ，降低了 ΔP ，其間關係可以以下式表示： $-V \Delta P = SP \Delta t$ 式子左邊為真空容器內之氣體減少量，式子右邊則表在相同時間內被真空邦浦抽出之氣體量。

假設抽氣速度維持恆定，則

$$P = P_0 \exp\left(\frac{-S}{V} \times t\right) = P_0 \left(\frac{-t}{\tau_0}\right); \text{ where } \tau_0 = V/S \text{ (時間常數)}$$

因此，只要不從外補入氣體，上式所示之容器內氣體壓力將一直降低而接近於零。

真實抽氣

真實抽氣情形並非如上節所預測，因為真實容器會有釋氣與洩漏發生，因而影響到氣體流入總量和速率。此兩項因素決定了真空系統所能到達的最低壓力。

貳、真空系統

真空系統是依特定應用需求而提供一與外界隔絕之真空環境，它主要是由負責氣體分子排除的真空邦浦，真空度偵測的真空計、真空環境進出與操控的真空閥門與真空引入及一些管路、接頭等配件所組合而成，真空系統性能的好壞則取決於材料選擇和系統性能及次系統元件之搭配選擇。

真空元件與材料

真空材料—真空材料一般可大致區分為金屬、陶瓷、玻璃、橡膠、塑膠及油脂等六類，使用上主要考量因素包括機械強度、逸氣率、加

工焊接、價格、抗溫、抗腐蝕等。

機械強度

真空材料若被運用在真空結構元件則機械強度及形狀是首要考量因素。

逸氣率

真空中材料會產生逸氣率的因素包括蒸發、熱退吸、氣體擴散、氣體滲透及電子、離子刺激退吸等，一般而言金屬之逸氣率較低，陶瓷、玻璃次之，油脂類最大，因此真空油脂使用僅在較低真空度要求的系統作為邦浦用油或橡膠 O 形環封合等極小區域使用。

加工焊接

真空元組極不可能都是一體成型，一般作為結構元件用途時必須作永久封合。在連接時，金屬材料、陶瓷、玻璃等硬質材料便不得不進行焊接，焊接方式包括熔焊、銅焊、錫焊及玻璃、陶瓷與金屬接合等四種，其中使用在真空中的金屬結構元件以熔焊之氣焊最為普遍。

真空封合

控元組件之可拆卸封合與連接元件，主要有彈性墊圈封合如 O 形環，金屬墊圈封合如無氧銅墊圈刀刀封合等，其中在超高真空以上應用領域，前者因逸氣、漏氣量大不適宜。

真空閥門

- 真空閥門是作為調節或隔絕真空系統內外氣體分子流動，其必要條件為不漏氣、氣導大且本身逸氣率小。
- 用於粗抽低真空閥門，如盤形閥、球閥
- 用於高真空之閥門，如閘閥與蝶形閥。

- 用於進氣之閥門，如針閥。
- 用於高溫烘烤之閥門，如全金屬閥。
- 其它還有可變氣導閥門等。
- 閥門之適用真空領域與功能則和機械構造與材料有關。
- 使用橡膠作為封合的閥門如盤形閥、針閥用於較低真空度，且不需高溫烘烤場合。
- 高真空及高溫用途則應選用以波紋管封合之全金屬閥門。
- 致動方式則有電磁式，手動式及氣動式等三大類。

真空引入

為了真空系統內外訊號，電源供應及機械動作等聯繫且不破壞真空環境必須使用真空引入元件。

可作為電力與信號傳送的電引入，如熱偶電引入、射頻引入、高電壓、高電流引入等。

可在外界操控真空系統元件機械動作的機械引入如轉動運動引入，線性運動引入，流體引入等。

電引入需考量電絕緣而有玻璃、陶瓷與金屬的接合。

機械引入則需考量機械動作時墊片封合。

真空邦浦

定義一對於能將真空容器中的氣體分子數目減低，以造成某種相對真空狀態的機件，吾人統稱之為真空邦浦。

真空邦浦之分類：

依抽氣方式劃分：

排氣式邦浦：將氣體分子直接從真空容器中抽離並排至大氣者稱之，一般而言，它沒有排氣容量限制。

儲氣式邦浦：將氣體分子運用物理或化學吸附方式抽離真空容器，但不直接排至大氣，而是暫時或永久儲存在邦浦系統中者之。一般而言，它是有儲氣容量之限制，必須以再生等方式重新恢復儲氣功能。

依工作原理劃份：

- 氣體壓縮原理：利用一次或多次壓縮作用，將真空容器內之氣體分子排至大氣，如活塞邦浦、旋片邦浦、魯式邦浦等。
- 動量移轉原理：利用動量傳遞方式將氣體分子由低壓力區送到高壓力區。可分為黏滯牽曳，如蒸汽噴邦浦；擴散牽曳，如擴邦浦及分子牽曳，如渦輪分子邦浦等方式。
- 物理或化學吸附原理：利用低溫凝結，化學反應、掩埋等方式將氣體分子固著，達到降低真空容器氣體分子數目的效果，如冷凍邦浦、離子邦浦、吸附邦浦等。

依工作壓力範圍劃分：

粗略真空用的汾丘里邦浦，活塞邦浦。

用於粗略真空至中度真空的滑片邦浦、魯式邦浦、吸附邦浦等，其中魯式邦浦、吸附邦浦是最常用在中度真空作為介於初級邦浦與高真空邦浦間輔助抽氣的中繼邦浦。

高真空邦浦一般而言無法涵蓋至粗略真空，如渦輪分子邦浦、油擴散邦浦及附凍邦浦、超高真空用的的邦浦主要為渦輪分子邦浦、冷凍邦浦及離子邦浦、鈦昇華邦浦。

真空前浦的性能要素一如前所述，真空邦浦的工作原、抽氣方式與適用工作壓力範圍是有極大的差異的，因此在選擇真空邦浦作為抽氣工具時必須注意幾個要素，並考慮其間搭配串聯抽氣之合宜性。

終極壓力：指邦浦抽氣所能達到最低氣壓之極限，大小由邦浦本身氣

體逆流之大小或所用抽氣媒介（邦浦油）之蒸汽壓來決定。

工作壓力範圍：指邦浦在此段壓力範圍內具有足夠之抽氣速率，適合作抽氣工作。

抽氣速率：邦浦的抽氣速率是隨壓力不同而變化，一般係指最大抽氣速率。

排氣口壓力：係指排氣真空邦浦的排氣口壓力，一段初級邦浦是直接排入大氣，排氣口壓力即為大氣壓，但如為高真空邦浦則可能要提高至 0.5torr 乃至於 10^{-2} torr 不等。

邦浦之組合：對於要達到高真空及超高真空領域的需求，目前尚無法以單一一種邦浦便可以勝任，一般皆是以初級邦浦搭配高真空邦浦，或者較複雜的甚至有以初級邦浦、中繼邦浦再搭配高真空邦浦、超高真空邦浦組合而成。

真空計測

真空計係依據在不同真空程度下氣體分子的行為差異，運用各種物理原理來直接或間接地量測氣體的壓的或分子數目，由於科技發展迄今，真空度涵蓋了從 10^5 Pa 至 10^{-11} Pa 的廣闊範圍，其間氣體的群體或個體運動行為的差異極大，到目前為止尚無一種真空計可以量測從一大氣壓至極高真領域。

真空計的選用要素要素-最重要的考量因素八四其量測範圍是否符合需求，對於廣泛領域的量測必須搭配真空計與高真空計，其它的考量要素尚包括準確度、再現性、靈敏度、操作方便性、價錢、使用壽命等。

真空計之分類：

依量測方式劃分：

直接式：直接量測氣體分子作用於感測元件之壁或膜的作用力大小，讀數通常與氣體種類無關，粗略真空計較常採用此方式。

間接式：量測氣體在某一真空領域的特性，如熱導度、電離度、黏滯度等，來轉換成為壓力，高真空計較常採用此種方式，其讀數與氣體種類有相關性。

依工作原理劃分：

機械式：利用感測元件之壁或膜所受作用力大小，來判定壓力大小。

電子式：利用不同真空度之氣體分子數目不同，所造成熱導性、黏滯性、電離性不同、將所量測之電子訊號強弱換算成壓力大小。

依量測範圍劃分

粗略真空計： $1\text{atm}-10^2\text{Pa}$ ，U型管真空計、波爾登真空計。

中度真空計： $10^2\text{Pa}\sim 10^1\text{Pa}$ ，如熱偶真空計，電容真空計。

高、超高真空計： $10^1\text{Pa}\sim 10^{-10}\text{Pa}$ ，如冷陰極真空計、離子真空計。

真空系統

真空系統之分類

依真空度範圍劃分：

粗略真空系統 $760\sim 1\text{torr}$

中度真空系統 $1\sim 10^{-3}\text{torr}$

高真空系統 $10^{-3}\sim 10^{-7}\text{torr}$

超高真空系統 $<10^{-7}\text{torr}$

依應用範圍劃分：

鍍模機

表面分析儀

離子佈植機

測漏機

電子顯微鏡

太空模機器

冶金爐

電體分析儀

其它

同步輻射器 冷凍乾燥機

依抽氣方式劃分：

擴散邦浦系統

離子邦浦系統

渦輪分子邦浦系統

冷凍邦浦系統

其它

真空系統之組配

真空系統為達到所需真空性能要求，主要要符合抽氣時間及最終真空度兩大條件，所以除了包含真空腔及其所有配件之材料特性能達到要求條件外，最重要的影響關鍵則在真空邦浦的組配以及周邊管道的設計。

系統組配考量要素

無額外氣體或蒸汽產生源之真空腔抽氣。

前級邦浦之選配。

抽氣時間或抽氣速度之決定。

有額外氣體或蒸汽產生源之真空腔抽氣。

前級邦浦之分配

以要達到高真空以上領域的真空抽氣系統而言，都必須以前級邦浦搭配高真空邦浦方能達到，前邦浦可能只有粗洛真空用的粗抽邦浦，亦可能包含了粗抽邦浦及中高度真空用的中繼邦浦。

前級邦浦之功能有二，一為將真空腔抽至合於最終高真空邦浦起始真空度範圍；二、為協助將最終邦浦排出之氣體再抽離而排至大氣。

通常最終邦浦為儲氣式邦浦時前級邦只扮演前者角色，若為排氣

式邦浦則前級邦浦就必須扮演二個角色，這在管路設計上必須有所不同。

若最終邦浦顧排氣式邦浦，其進氣口壓力為 P_A ，抽氣速率為 S_A ，前級口壓力為 P_V ，則最終邦浦抽除之氣體量 $Q=P_A S_A$ ，此量必須由前級邦浦協力排除之。所以前級邦浦之抽氣速率須滿足。

$$Q=P_A S_A=P_V S_V \quad S_V=P_A/P_V. \quad S_A\text{之條件}$$

若最終邦浦進氣口有加油擋板等其它附件時 S_A 將會下降，則 S_V 之要求要可以降低。

例：擴散邦浦抽氣速率為 400 1/sec，使用油擋板使速率降低 50%，臨界前級壓力為 $2*10^{-1}$ torr,則對前級邦浦之抽氣速率要求與擴散邦浦之進氣口壓力有關。

若進氣口壓力 $P_A=1*10^{-2}$ torr，如此高壓將使擴散邦浦達不到應有抽氣性能，實際抽氣速率只有 100 1/sec，擴散邦浦加上油擋板後有敦抽氣速率降為 50 1/sec，所以前級邦浦油抽氣率應為：

$$S_V=1*10^{-2}/2*10^{-1}*50=0.5 \text{ 1/sec}=9 \text{ m}^3/\text{hr}$$

若進氣口壓力 $P_A=10^{-3}$ torr，壓力已達擴散邦浦正常抽氣速率範圍，所有有效抽氣速率為 200 1/sec，前級邦浦抽氣速率變為：

$$S_V/1*10^{-3}/2*10^{-1}*200=1 \text{ 1/sec}=3.6\text{m}^3/\text{hr}$$

由此可知前級邦浦之抽氣速率需選用 $9\text{m}^3/\text{sec}$ 以上，因一般正常擴散邦浦啟動壓力為 $5*10^{-3}$ torr 以下。

伍、真空技術之應用

真空技術對現斂科技文明的發展具有舉足輕重之地位，從學術基礎研究到民生工業皮高科技產業均扮演著吃重的角色，尤其現封攸關我國經濟發展的半導體元件製造產業對真空技術更是存在著高度的

依賴性。

運用真空技術之目的

真空是一項極特殊的環境，它可提供一個純淨不受氣體分子干擾的空間，以進行科學研究或產回生產，這些工作主要是利用在真條件下的某些物理上或化學上的特質：

物理特質：

真空與大氣壓力間的壓力差所逕成的吸附效果。

真空中氣體分子平均自由徑加長，分子間碰撞減少，有利於電子、離子長距運動。

真空中氣體稀薄可降低熱傳導、提高電絕緣。

化學特質：

真空中氣體分子數目少，有助於防止水汽、氧氣對物件的破壞，污染。

真空中可形成持續之電離效應，有助於使用電漿反應以進行鍍膜、蝕刻、材料化合等工作。

真空技術之應用範圍

真空技術之應用可以將之區分為學術研究與工業生產兩大部份，在學術研究方面包捨有質譜儀，分子束裝真、粒子加速器、電子顯微鏡、薄膜成長、電漿研究、表面物理研究、太空模擬研究等。

在工業生產業面更涵蓋機械工業之金屬退火、除氣、金屬熔接、表面硬化處理、精密鑄造等；化學工業之藥品製造貯、蒸餾分餾、乾燥成型等；食品工業之真空包裝、乾燥、真空填充、脫水貯藏等；電子工業之離子佈植、真空鍍膜、真空蝕刻、真空管、雷射等。

真空技術在半導體元件產業之應用

半導體元件產業為我國經濟發展之命脈，而其投資設廠所需硬體

費用龐大，在生產設備方面有約一半是與真空設備有關，而製造過程中與真空有關的製程技術則佔了七成以上，從半導體材料製造、處理、雜質摻入、薄膜沈積、蝕刻原都和真空技術息息相關。

陸、真空測漏

1. 實漏與虛漏

氣體分子直徑約 0.1~1 nm，因此氣體分子可說無孔不入。

實漏是真空系統外之氣體，經由管壁、焊接缺陷、刮傷之接頭進入系統。

虛漏是原殘留在系統內之氣體(液體或固體在低壓或高溫下解離成氣體)逸出，此現象常發生於真空封合、焊接與螺紋間細縫中，因真空中吸附氣體逸出。最常見於夾、治具使用錯誤材料與設計不良。

2. 真空測漏之重要性

能源方面

品質方面

環保方面

安全方面

3. 真空系統漏氣原因

- 加工問題
- 組裝結(接)合問題
- 材料問題
- 清潔問題
- 磨耗問題
- 搬運問題

3-1 加工問題

- 焊接瑕疵
- 車刀痕
- 加工方向
- 刮傷
- 公差與配合
- 加工應力
- 清潔

3-2 接合問題

- 鎖緊力不均勻
- 墊片重覆使用
- 刀口受傷
- 溫度變化
- Oring 規格不符或刮傷
- 焊道龜裂
- 閥門無法鎖緊

3-3 材料問題

- 晶粒與雜質
- 壓延過程引伸方向
- 材料砂孔
- 材料疲勞
- 材料腐蝕
- 在溫度劇烈變化之環境用熱膨脹係數差異大之材料
- 有腐蝕性環境使用不耐蝕材料
- 使用多孔隙材料或高真空環境用高蒸氣壓材料
- 高溫環境使用不耐熱材料

➤ 材料厚度不足，在真空或應力環境引起變形

4、漏氣率之表示

- 1Std.cc：指在 0°C 一大氣壓下 1cc 體積之氣體。
- 1Std.cc/s：0°C 系統內外氣力差 1 氣壓下每秒漏入 1Std.cc 氣體
- 1Torr.l：指在 0°C 1Torr 壓力下一公升之氣體
- 1Torr.l/s：即每秒漏氣量足以使一公升之真空容器壓力升高 1Torr
- 1Ste.cc/s=0.76Torr.l/S(約略相等)

5、測漏方式(正壓法)

測漏方法	工作範圍	量測能力	追蹤氣體
水浸法	$> 10^5$	10^{-2}	空氣
泡沫法	$> 10^5$	$1 \sim 10^{-2}$	空氣
聲波測漏	$> 10^5$	$> 10^{-3}$	空氣
超音波法	$> 10^5$	$> 10^{-3}$	空氣
壓力下降法	$> 10^5$	$> 10^{-3}$	空氣、氦、氬
氦氣測漏儀	$> 10^5$	$> 10^{-5}$	空氣+氦
氬氣測漏儀	$> 10^5$	$> 10^{-11}$	空氣+氬
放射性同素法	$> 10^5$	$> 10^{-12}$	氬 ⁸⁵
螢光檢漏法	$> 10^5$	$> 10^{-7}$	螢光物、液體

6、氦氣測漏原理

氦氣測漏儀為一簡單質譜儀，以高熱燈絲所生之電子與真空系統中的氣體分子碰撞，使氣體成帶電離子。

離子因質量與電荷比值(m/e)不同，離子，經磁場時其運動半徑不同，非選取離子被狹縫擋住。

通過狹縫之離子(如氦離子)電流即可被法拉第杯偵測到，電流放大後，就可判斷漏氣大小。

6-1 氦氣測漏儀之結構

- 質譜管
- 真空抽氣系統
- 控制閥與管路
- 控制電路
- 微電腦與軟體
- 顯示與輸出週邊

6-2 氦氣測漏儀之測漏流程

- 真空腔抽真空
- 安裝測漏儀
- 啟動測漏儀
- 連接測漏管路
- 選擇測漏管路
- 打開閥門抽氣
- 噴追蹤氣體進行測漏
- 漏氣點定位
- 暫時止漏
- 關閉真空腔閥門
- 開啟通氣門
- 關機
- 拆卸測漏管路

7、使用氦氣測漏儀注意事項

- 測漏儀使用時不得傾斜超過 10 度
- 必須使用正確電源

- 開機狀況時不得移動
- 開機中除耳機外不得接上或拔除接頭
- 測試時壓力不得高於 0.5mbar
- 搬運時避免碰撞
- 關機後至少兩到三分鐘內不得移動

7-1 氦氣測漏噴氣測漏法要點

- 因空氣稀釋氦靈敏度較理論靈敏度低很多
- 測漏順序為較高處易較低處，近測漏儀處再向遠方噴吹
- 先用較粗噴嘴找漏氣區，再以小噴嘴找漏氣點
- 測出較大漏氣孔，要先補漏再測其它部份
- 必要時先採隔絕方式找漏氣點
- 噴某點後測漏儀有緩慢上昇，且數值與噴嘴方向有關時，表降近有大漏
- 環境要適當通風，必要時吹氦或空氣稀釋
- 找出漏氣孔要複驗數次，以確認漏點

7-2 測漏儀無信號之可能原因

- 無漏氣
- 追蹤氣體未噴到漏氣口
- 測漏儀故障
- 測試閥門未開
- 測漏儀靈敏度不足

7-3 測漏技術的應用

- 汽車燃料系統、汽缸、煞車缸、安全氣囊
- 油箱、冷氣、空調系統、熱交換器
- 燈泡、熱水瓶、易開罐、罐裝殺蟲劑

- 太空艙、飛機艙
- 製藥與食品產業
- 氣、油壓、真空容器與元件
- 油管、水管、氣管、及閥門
- 半導體、光電、材料製程設備、貴重儀器

7-4 真空測漏的重要性

- 真空測漏是繁瑣的工作
- 真空測漏是花小錢省大錢
- 氬氣測漏是最安全、可靠、方便之測漏工具

8、真空計校正

真空計為真空量測常用的量具之一，因此必須定期校正才能確保量測品質及可靠度。

8-1、真空計直接比較校正系統以高準確電容式真空標件(MKS BARATRON 690A)，其範圍 $10^{-3} \sim 10^3$ Torr。校正方式系將工作級感空測頭連接於真空校正系統上執行比較校正，依循國際標準組織頒布之『量測不確定表示方式指引』(以下簡稱ISO GUM)所述，執行各要因分析法分析不確定度。

以下說明本系統使用之設備、量測原理與方法、量測品保、誤差分析等。本系統依實際量測數劇，經量測品保方式，計算出可提供服務之系統能量(量測範圍及不確定度)，此項能量之訂定，得由未來量測技術之提昇而修訂。

系統設備

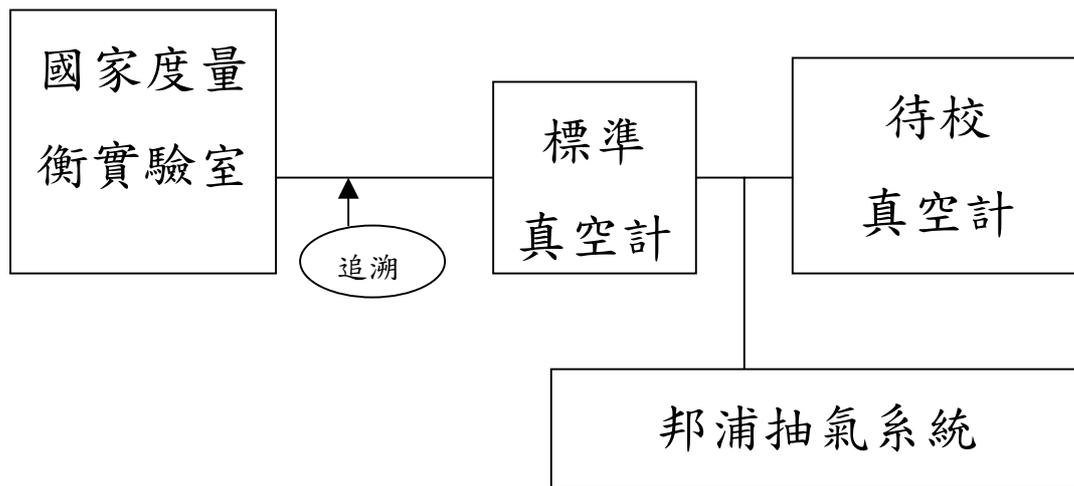
項次	名稱	製造廠商	型號	規格
1	高精準真空標準件	MKS	690A	量測範圍 $10^{-3} \sim 10^3$ Torr

2	高真空邦浦	Varian	Tarbo-V 300HT	280 l/s
---	-------	--------	------------------	---------

系統原理

系統提供一已知成分的氣體，且其壓力分佈均勻，穩定，並能產生足夠低的背景壓力(background pressure)，滿足校正時的要求，依據 DIN28418 ISO/DIS3567/3568 標準規範要求：背景壓景不能超過卻校正範圍低限的 2%；若欲校正的壓力低限為 1×10^{-7} torr，則背景壓力不得高於 2×10^{-9} torr，概略來說，背景壓力比較正壓力的低限還要低二次方。

系 統 追 溯 方 塊 圖



系統校正方法

校正系統通入氣體後，比對標準真空計與待校真空計之讀值，即可測得校真空計之量測器差。校正室與環境的溫度介於 22~24°C。最好是 23 °C 校正過程中，每調整一壓力值或改變真空計的參數，必須讓量測儀器重新穩定一段時間以降低量測的誤差。

8-2 真空計動態比較校正系統

使用熱陰極離子化真空計、動態平衡比較校正系統和殘氣氣體分析儀等設備，進行量測離子式真空計標準器。以下說明本系統使用之

設備，量測原理與方法，量測品保，量測能量等。

本系統依實際量測數據，經量測品保方式，依循國際標準組織頒佈之「量測不確定度表示方式指引」(以下簡稱 ISO GUM)所述，執行各要因分析法分析不確定度。計算出可提供服務之系統能量(量測範圍及不確定度)，此項能量之訂定，得由未來量測技術之提昇而修訂。

量測系統介紹

本系統目前使用 MKS SRG-2 及 GRANVILLE-PHILLIPS 360 兩套標準件，故適用一個標準件對一個待測之量測品保方式，以送校度量衡國家實驗室之 MKS SRG-2 做為傳遞標準件，GRANVILLE-PHILLIPS360 做待測件，亦為工作級標準件。

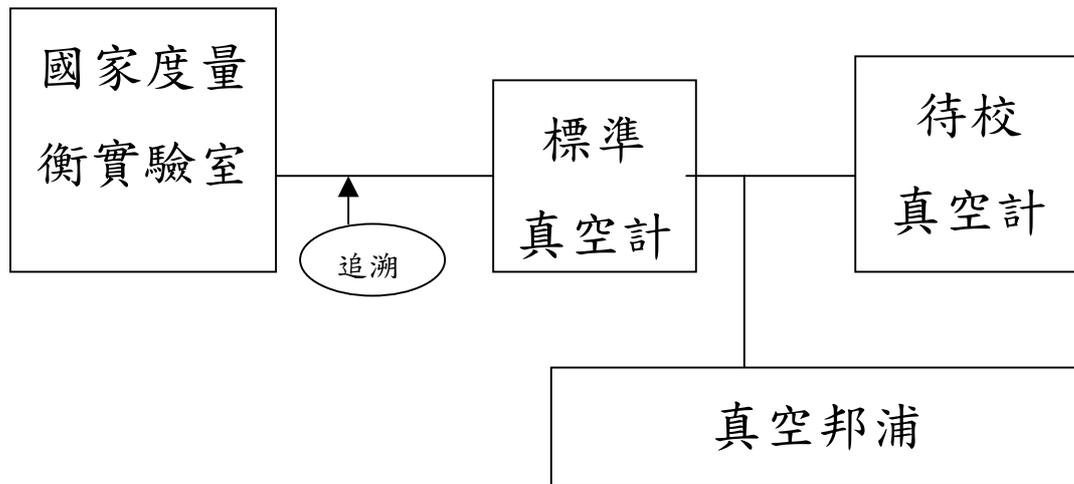
系統設備

項次	名稱	製造廠商	型號	規格
1	高真空標準件	MKS	SRG-2	量測範圍 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ Torr
2	高真空邦浦	ALCATEL	MDP5010	ALCATEL 7.5 l/s

系統原理

系統之抽氣裝置與真空腔之氣導，用以維持抽氣速率之穩定。氣體通入裝置之擋片設計，以造成均勻之氣壓分帥(Homogenous Pressure)。系統真空度抽至 1/50 待校氣壓值後，將微調閥打開，通入氣體，比對標準真空與待校真空計讀值，即可測待校真空計之量測比值。

系 統 追 溯 方 塊 圖



系統校正方法

校正系統通入氣體後，比對標準高真空計與待校高真空計之讀值，即可測得待校高真空計之量測器差。校正室與環境的溫度介於 22~24oC，最好是 23oC。校正過程中，每調整一壓力值或改變真空計的參數，必須讓量測儀器重新穩定一段時間以降低量測的誤差。

9 結論

國內業界已製造成功：

超高真空校正系統到達壓力 2×10^{-10} Torr，供工研院量測中心，表面分析系統到達壓力 1×10^{-10} Torr，供核能研究所，國內業界已建立全系列真空標準元件國際化，並轉移各協力廠及代理商，國內業界開發完成高真空光學自動鍍設備，並已量產電子槍鍍膜設備，熱阻式鍍膜設備，80 年國內開發第一套 UHV CVD 系統(超高真空化學氣相沉積系統)完成國內業界完成電漿輔助化學沉責系統，目前於國家毫

微米實驗室使用，國內業界與交大半導體中心共同開發完成低壓學氣相沉積系統，國內業界完成超高真空、超導雷射鍍膜系統，國內業界與美商摩托羅拉公司共同開發完成真空鍍膜設備，目前已正式量產，國內業界開發完成自動輸送式 4”晶圓銅化學氣相沉積系統，目前於國家微米實驗室使用中，國內業界開發完成光電半導體用反應式離子蝕刻機(RTE)系統。

國內業界與經濟部、中科院共同開半導體製程集束型 8”晶圓真空傳輸製程系統，目前於中科院使用中，國內業界與國科會、交大共同投入半導體 8”晶圓 Cu-CVD 製程及設備系統研發國人與美商、日商共同開發全自動連續性鍍膜設備，應用於 ITO、DVD 硬碟鍍膜設備。